

文章编号:1005-0523(2017)05-0072-09

公路路侧景观绿化评价指标体系研究

袁 黎,张 倩,郭 娟,蔡明杰

(河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:为更好地评价公路绿化水平,基于一般公路一般不设置中央分隔带的特点,重点研究公路路侧的景观绿化。通过对公路绿化功能的分析,采用文献资料法、综合分析法初步选取了29个评价指标,然后运用德尔菲法通过两轮专家咨询完善并建立了公路路侧景观绿化评价指标体系,该体系评价指标主要包括:安全功能、景观功能及生态防护功能。其次利用层次分析法对评价指标体系中各指标进行权重的分配,建立了综合评价模型。最后以江苏省340省道两个路段的公路路侧景观绿化评价为例进行了实证分析,进一步验证了评价指标体系的可靠性。

关键词:评价指标体系;德尔菲法;绿化;公路路侧;层次分析法

中图分类号:U418.9

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.05.011

随着我国公路建设的快速发展以及公路使用者对公路功能越来越高的要求,公路景观绿化越来越受到重视。良好的公路景观绿化既可以美化环境、保护生态,又能提高司乘人员的舒适性、保障车辆安全行驶,因此对公路景观绿化的评价也备受关注。国外对公路绿化的评价,主要集中在公路绿化景观价值的评估,在大量实践研究的基础上提出了很多的景观评价方法,Daniel,Vining将景观评价方法划分为生态模式、形式美学模型、心理模式、心理与现象模式等不同类型进行研究分析^[1]。目前较好的评价方法是评分法和比较评判法。相对于国外而言,我国公路景观评价起步较晚,大多数学者比较注重对景观生态方面的研究^[2-3]。近几年,一些学者也逐渐进行了大量研究,在公路景观评价方面主要集中在以下几个方面。一是以景观视觉影响为评价出发点,如胡圣能通过对景观视觉协调性的理论研究,引出了表征视觉协调性的量化指标——景观视觉协调度,并提出高速公路景观协调性评价指标体系^[4]。二是利用数学方法,构建评价模型进行评价,如袁黎提出了基于回归分析和层次分析法的一级公路绿化的评价指标体系,并建立了一级公路绿化综合评价模型^[5]。三是利用3S技术进行评价,如钱希志基于移动GIS软硬件的发展以及公路绿化评价的现状,利用移动手机方便快捷的特点,设计与使用了基于Windows Mobile平台与超图公司的eSuperMap相结合的公路绿化评价系统^[6]。

这些研究大多数偏重于高速公路,并且主要集中在对景观的评价,对于一般公路的景观绿化评价研究较少,迫切需要研究一般公路景观绿化评价指标体系。一般公路即二级及其以下公路,一般是双车道且不设置中央分隔带^[7],公路绿化主要是对公路路侧的绿化,因此主要研究公路路侧景观绿化评价。结合一般公路的绿化特点,通过研究大量文献资料和运用德尔菲法建立公路景观绿化评价指标体系,利用层次分析法对其进行综合评价,为二级及二级以下公路景观绿化提供合理的评价依据。

收稿日期:2017-03-31

基金项目:国家自然科学基金项目(51308192)

作者简介:袁黎(1974—),女,副教授,博士,主要研究方向为道路交通安全。

通讯作者:张倩(1994—),女,硕士研究生,研究方向为交通运输规划与管理。

1 公路路侧景观绿化评价指标体系的建立

1.1 建立评价指标体系的思路

为使公路路侧评价指标体系具有科学性和可行性,在指标体系的建立过程中需要将定性分析与定量研究相结合。为此从管理者和公路使用者的角度出发,结合大量国内外相关文献的研究,运用综合分析法先提出初步评价指标,然后通过德尔菲法筛选评价指标。德尔菲法在初步选取评价指标的基础上,选择一批专家多次填写征询意见表,取得一个比较一致且可靠性大的结论,如此对评价指标体系进行优化,最终确定公路路侧景观绿化评价指标体系。

1.2 评价指标体系的初选

公路路侧绿化景观主要指除开道路路面本身而出现在驾驶员和乘客视野范围内的公路两侧的各种绿化景物,它所涉及的领域较广,内容较多。为以尽量少的指标反映最主要和最全面的信息,研究从公路路侧景观绿化水平这一目标出发,通过对绿化功能的分析和分解,采用文献资料法、综合分析法,选取与目标相关且出现频次较高的指标,利用层次分析法的思路建立树状关系结构,将目标层次依次分类展开,直到指标可进行定量或定性分析为止。为此从安全功能、景观功能、生态防护功能和管理情况四方面进行分类,选择了 29 个指标初步形成评价指标体系。

1.3 评价指标体系的优化

初拟评价指标一般数量较多,甚至指标之间存在某种程度的相关关系,因此需要对指标体系进行筛选完善。

1.3.1 德尔菲法的具体实施方法

研究采用德尔菲法进行指标体系的进一步筛选并对指标进行数据处理分析,结合专家建议完善指标体系。这里选择在所研究领域有相当经验的 10 位专家,工作年限超过 15 年,均在相关学术期刊发表过与研究目标有关的论文。主要通过电子邮件的方式向专家发放制定的调查表,请被调查者依据李克特 5 分量表法对评价指标的重要性进行打分,提出自己的意见,并对回收的问卷进行数据统计分析^[8]。对调查结果的处理包括专家意见的集中程度、专家意见的协调程度以及专家意见的权威程度,其中协调系数 W 反映专家彼此之间在对每一项指标进行评价时评价意见是否具有较大的差异,一般在 0-1 之间。一般经过 2-3 轮咨询协调后,协调系数在 0.5 的范围波动时误差控制较好。对协调系数进行显著性检验,在 95% 的置信度下,如果 $P>0.05$,则评估结论的可信度差,评价结果不可取^[9]。文中利用德尔菲法进行了两轮专家征询。

1.3.2 第 1 轮咨询情况及分析

按上述方法进行统计,分别计算指标的均数 M_j ; 满分频率 K_j ; 变异系数 V_j ^[9]。其中 j 表示具体的指标,将数据汇总见表 1 和表 2。

表 1 一级指标数据统计表
Tab.1 Data statistics of first class indexes

一级指标	算数均数 M_j	满分频率 K_j	变异系数 V_j	指标期望值
安全功能	5.00	1.00	0.00	2.00
景观功能	4.25	0.50	0.20	1.65
生态防护功能	4.50	0.50	0.11	1.70
管理情况	4.25	0.75	0.31	1.77

表 2 二级指标数据统计表
Tab.2 Data statistics of second class indexes

序号	二级指标	算数均数 M_j	满分频率 K_j	变异系数 V_j	指标期望值
1	安全视距	5.00	1.00	0.00	2.00
2	视线诱导	4.00	0.50	0.25	1.58
3	路侧植物横向距离	4.50	0.50	0.11	1.70
4	植物竖向净空	3.25	0.25	0.40	1.30
5	色彩	4.67	0.67	0.10	1.81
6	变化率	4.67	0.67	0.10	1.81
7	协调度	4.67	0.67	0.10	1.81
8	观赏性	4.00	0.50	0.25	1.58
9	舒适度	4.00	0.33	0.20	1.51
10	层次感	4.00	0.25	0.18	1.48
11	文化内涵	2.75	0.25	0.54	1.18
12	景观敏感度	3.33	0.00	0.28	1.21
13	景观阈值	3.00	0.00	0.47	1.16
14	水土保持	4.50	0.75	0.19	1.81
15	降温增湿	4.00	0.67	0.35	1.67
16	降噪	4.00	0.67	0.35	1.67
17	净化空气	4.00	0.67	0.35	1.67
18	物种多样性	3.67	0.33	0.34	1.45
19	生物多样性	4.00	0.33	0.20	1.51
20	群落结构合理性	4.33	0.33	0.11	1.59
21	乡土植物比例	4.00	0.33	0.20	1.51
22	绿化覆盖率	4.50	0.75	0.19	1.81
23	绿视率	4.25	0.50	0.20	1.65
24	适应性	4.67	0.67	0.10	1.81
25	边坡植被恢复率	4.50	0.50	0.11	1.70
26	绿化成活率	5.00	1.00	0.00	2.00
27	修剪情况	3.50	0.00	0.14	1.21
28	平均每平方米绿地养护经费	3.50	0.25	0.32	1.36
29	政府绿化投入占 GDP 比重	3.25	0.25	0.46	1.32

经过计算 4 项一级指标的判断影响程度系数均值为 0.85,熟悉程度系数均值为 0.90,得到专家权威系数均值为 0.875,说明专家的权威程度较高,因此可推断论文的研究精度也较高。经计算得到协调系数的值为 0.167, P 值小于 0.05,说明结果可取,具有一致性,但 W 较小还需进行第 2 次专家咨询。对文中数据统计表中的数据进行分析,按以下原则对第 1 轮中的指标体系进行删减调整:

1) 同时满足, $M_j \geq 4, K_j \geq 0.1, V_j \leq 0.25$ 这 3 个因素的值。

2) 将算术均数、满分频率以及变异系数按等概率的原则计算其期望值,判断指标的重要性大小,选择期望值大于 1.5 的指标。

3) 保留同时满足上述 1)2)两个条件的指标,删去两个条件均不满足的指标。

4) 对于只满足条件 1)或只满足条件 2)的指标结合所保留的指标,通过整理分析专家们在问卷中所提出的建议以及在一些指标上的疑议,合理分析整理后对指标进行筛选合并调整。

根据以上筛选原则,删除不满足条件的二级指标 7 个,即植物竖向净空、文化内涵、景观敏感度、景观阈值、物种多样性、平均每平方米绿地养护经费、政府绿化投入占 GDP 比重;对于不满足条件 1)的 3 个指标(降温增湿、降噪、净化空气)结合专家的建议进行删除处理;对于一级指标中的管理情况考虑到所剩指标绿化成活率及修剪情况均能通过其他 3 个一级指标间接反映其管理水平,因此删除这一项指标;结合专家意见将色彩与舒适度两个指标归并于观赏性,变化率归并于层次感,生物多样性归并于群落结构合理性,绿视率归并于绿化覆盖率。调整后的指标体系包含一级指标 3 项,二级指标 12 项。

1.3.3 第 2 轮咨询情况及分析

发放第 2 次专家咨询调查表,问卷中包含了第 1 轮征询的数据分析计算结果,第 2 轮征询数据处理结果见表 3。

表 3 第 2 轮专家咨询数据统计表
Tab.3 Data statistics of the second round of expert consultation

序号	二级指标	算数均数 M_j	满分频率 K_j	变异系数 V_j	指标期望值
1	安全视距	5.00	1.00	0.00	2.00
2	视线诱导	4.00	0.50	0.25	1.58
3	路侧植物横向距离	4.50	0.50	0.11	1.70
4	协调度	4.00	0.00	0.00	1.33
5	观赏性	4.00	0.50	0.25	1.58
6	层次感	4.50	0.50	0.11	1.70
7	水土保持	4.50	0.50	0.11	1.70
8	群落结构合理性	3.00	0.00	0.33	1.11
9	乡土植物比例	2.50	0.00	0.60	1.03
10	绿化覆盖率	5.00	1.00	0.00	2.00
11	适应性	3.50	0.50	0.43	1.48
12	边坡植被恢复率	4.00	0.50	0.25	1.58

第 2 次专家咨询数据统计分析后,依然按照第 1 轮中指标体系的筛选原则进行筛选。考虑到群落结构合理性可在景观功能下的层次感这一指标中得到反映,乡土植物比例和适应性均有考虑植物的生长适应能力,是体现其他几个功能的前提和保证,因此删除不满足条件的这 3 个二级指标,通过其他指标侧面反映也是可行的。考虑到其他指标无法反映整体的协调特性,且为了降低专家打分的主观性,决定不删除协调度此项指标。

经过两轮专家咨询,评价指标体系基本确定,形成如图 1 的公路路侧景观绿化评价指标体系。

1.4 评价指标的说明及分析

1) 安全功能。安全视距:植物的栽植需要满足行车视线的安全视距,在交叉口视距三角形范围内和弯道转角处栽植的树木不能影响驾驶员的视线。视线诱导:合理的植物种植形式可以有效地引导驾驶员的视线,帮助驾驶者识别道路线形,注意侧向界限。如通视性较差,道路曲线半径较小的地方,通过种植树木可以起到指示性的作用,为驾驶员带来安全感。路侧植物横向距离:栽植在路侧的植物(以及树冠伸出路外的距离)需要考虑路侧的安全,满足一定的安全距离,保证驾驶员行车的安全。

2) 景观功能。协调度:主要指公路绿化景观自身内部及其与外部环境搭配的协调程度。观赏性:指公路绿化作为一种景观,它所表现出来的整体形象满足人们视觉审美需求的能力的高低。层次感:主要指植物类型、形态、布局、颜色等随公路里程的变化情况,为避免驾驶员因单调的景物而产生疲劳,需要一定的变化。也包括季相变化,如一年中植物景观的绿期、花期、果期,常绿与落叶植物的搭配及比例问题。

3) 生态防护功能。水土保持:指公路绿化在减少公路建设对水土资源和土地生产能力的破坏和损失的能力的大小,以及对公路建成后对两侧水土资源保持能力的大小。绿化覆盖率:指公路绿化植物乔、灌、草等冠幅投影面积占公路绿化用地面积的比例。边坡植被恢复率:指公路建设期对自然生态的破坏面积与建成后恢复面积的比例。

2 公路路侧景观绿化综合评价模型的建立

2.1 评价模型的理论结构

通过对公路路侧景观绿化评价指标的选取、分析及整理,建立了层次结构模型见图1。对模型中二级指标评分值通过项目资料、现场调查及主观评价等方法得到;结合综合指数法的思路,一级指标评价分值是对二级指标分值的进一步收敛: $S_i = \sum W_{ij} S_{ij} (i, j=1, 2, 3)$,其中 W_{ij}, S_{ij} 分别表示各个二级指标的权重和评分值, S_i 表示指标 i 的百分制得分;综合评价是对一级指标分值的进一步收敛,计算公式见式(1)^[10]:

$$S = \sum_{i=1}^3 W_i S_i \quad (1)$$

式中: S 表示公路路侧景观绿化综合评价指数; $W_i S_i$ 表示某评价指标下的评价分指数。

2.2 模型参数的标定

为了合理标定模型参数,利用层次分析法确定指标权重。研究采用专家咨询的方式邀请多位专家,依据1-9标度法对进行比较的两两要素赋值得到判断矩阵^[11],利用方根法计算非零最大特征根 $\lambda_{\max}$,并通过一致性指标 CI 检验其一致性, CI 定义如下: $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$,再将 CI 与 RI (随机一致性指标)进行比较,如果所得的一致性比例 $CR = CI / RI < 0.10$,则表示判断矩阵满足一致性要求,无需调整矩阵,否则需要利用一定的方法对判断矩阵进行修正,直至满足一致性要求^[12]。本研究采用张炳江《层次分析法及其应用案例》一书中的诱导矩阵修正法^[13]。由于请多位专家构造判断矩阵,需要将对应的权重进行汇总后取均值,但可能会出现某一层权重向量组的权重和不为1的情况,因此还需要进行归一化处理,归一化后得到的权重向量即

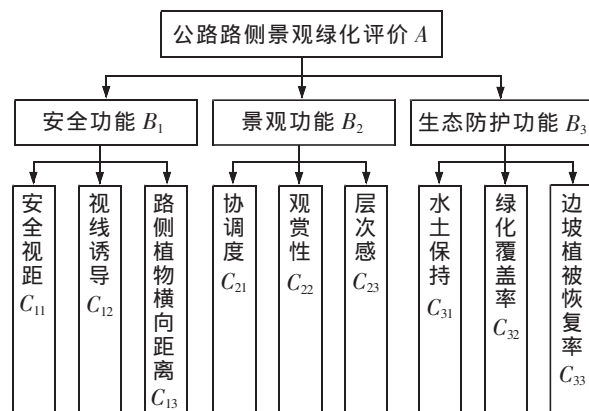


图1 公路路侧景观绿化评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system of highway roadside landscape greening

可作为系统的权重向量。受篇幅所限,文中只列出一位专家总目标下的判断矩阵和修正后的判断矩阵以及相关计算结果作为实例,见表 4 和表 5。最后给出对所有专家构造的判断矩阵权重计算值的平均结果见表 6,得出公路路侧景观绿化的评价模型:

$$S_1=0.55 S_{11}+0.25 S_{12}+0.20 S_{13}$$
$$S_2=0.21 S_{21}+0.58 S_{22}+0.21 S_{23}$$
$$S_3=0.66 S_{31}+0.11 S_{32}+0.23 S_{33}$$
$$S=0.76 S_1+0.10 S_2+0.14 S_3$$

(2)

(3)

(4)

(5)

表 4 判断矩阵 A-B 及计算结果

Tab.4 A-B judgment matrix and calculation results

A	B ₁	B ₂	B ₃	行要素乘积	行要素几何平均	归一化
B ₁	1	5	7	35	3.27	0.71
B ₂	1/5	1	1/3	0.6	1.00	0.22
B ₃	1/7	3	1	0.05	0.31	0.07

一致性检验 $\lambda_{\max}=3.18$ $CI=0.09$ $CR=0.20>0.10$

表 5 修正后的 A-B 判断矩阵及计算结果

Tab.5 Corrected A-B judgment matrix and calculation results

A	B ₁	B ₂	B ₃	行要素乘积	行要素几何平均	归一化
B ₁	1	5	7	35	3.27	0.75
B ₂	1/5	1	1	0.2	0.58	0.13
B ₃	1/7	1	1	0.14	0.52	0.12

一致性检验 $\lambda_{\max}=3.01$ $CI=0.0063$ $CR=0.011<0.10$

表 6 各项评价指标权重

Tab.6 Index weight in the evaluation system

一级指标		权重	二级指标	权重
公路路侧景观绿化评价	安全功能 B ₁	0.76	安全视距 C ₁₁	0.55
			视线诱导 C ₁₂	0.25
			路侧植物横向距离 C ₁₃	0.20
	景观功能 B ₂	0.10	协调度 C ₂₁	0.21
			观赏性 C ₂₂	0.58
			层次感 C ₂₃	0.21
	生态防护功能 B ₃	0.14	水土保持 C ₃₁	0.66
			绿化覆盖率 C ₃₂	0.11
			边坡植被恢复率 C ₃₃	0.23

2.3 评价分值的等级划分

根据公路资料和现场实地勘测调查资料,并通过主观综合打分进行分析汇总,可得出公路路侧景观绿化分级标准如表 7 所示。

表 7 公路路侧景观绿化分数等级的划分
Tab.7 Classification of landscape greening score

等级	优	良	中	差
综合分值	80~100	70~80	60~70	<60

根据评价模型可得到指标综合得分,参照绿化分数等级划分可知道公路路侧绿化水平的高低。根据不同的评价结果,对公路路侧绿化进行处理,如评价结果为优,则只需进行日常的维护养护,如评价结果为良、中、差,则需根据打分中具体的某几项得分较低的指标以及现场调查过程中发现的问题分别进行小修、中修及大修,为行驶者创造良好的绿化行车环境

3 实例分析

为了在实际路段中验证以上模型的合理性,研究选取了江苏省 340 省道 k162~k166 和 k169~k170 两个路段进行分析,路段等级为二级,设计速度为 60 km/h,路段的选择主要依据公路绿化模块进行划分。根据调查和综合评价模型得到最终的评分值见表 8 和表 9。

表 8 路段 k162~k166 综合得分表
Tab.8 Comprehensive evaluation score of Section k162~k166

一级指标	二级指标	评分	指标得分	综合得分
B_1 (0.76)	C_{11} (0.55)	80	44	62
	C_{12} (0.25)	85	21	
	C_{13} (0.20)	84	17	
B_2 (0.10)	C_{21} (0.21)	88	18	8
	C_{22} (0.58)	89	47	
	C_{23} (0.21)	90	16	
B_3 (0.14)	C_{31} (0.66)	86	57	12
	C_{32} (0.11)	80	9	
	C_{33} (0.23)	80	18	

表 9 路段 k169~k170 综合得分表
Tab.9 Comprehensive evaluation score of Section k169~k170

一级指标	二级指标	评分	指标得分	综合得分
B_1 (0.76)	C_{11} (0.55)	80	44	58
	C_{12} (0.25)	78	19	
	C_{13} (0.20)	65	13	
B_2 (0.10)	C_{21} (0.21)	66	14	7
	C_{22} (0.58)	68	40	
	C_{23} (0.21)	68	14	
B_3 (0.14)	C_{31} (0.66)	68	51	11
	C_{32} (0.11)	78	8	
	C_{33} (0.23)	80	17	

从表中得分值可以看出路段 k162~k166 公路路侧绿化等级为“优”,且在优这一等级下分值比较低,实际路段中确实存在部分地方绿量不足的问题,如图 2 所示,需要后期养护做好补填和维护。路段 k169~k170 公路路侧绿化等级为“良”,实地照片见图 3,但路侧横向距离、协调度、观赏性、层次感以及水土保持等几个指标的分值却相对较低,分值达到了中的水平,需要进行中修,在绿化形式上做一些调整。从实际绿化效果和所得评价等级结果对比分析可知评价模型具有合理性。



图2 路段 k162~k166 实地照片
Fig.2 Photograph of Section k162~k166



图3 路段 k169~k170 实地照片
Fig.3 Photograph of Section k169~k170

4 结论

根据一般公路景观绿化的主要功能,通过对评价指标的初步筛选和德尔菲法完善建立了公路路侧景观绿化评价指标体系,为有关理论研究和实践应用提供了有益参考。为使评价更加直观,利用层次分析法建立综合评价模型计算公路路侧景观绿化综合得分,确定公路绿化的等级以衡量其绿化水平。将该模型运用到340省道的绿化实践中,能够客观地评价公路路侧景观绿化的实际效果。由于公路绿化的客观复杂性和评价者的主观性,还需对一般公路进行进一步的现场调查,寻求更加科学合理的方法实现指标的定量化,增强指标评价的客观性。

参考文献:

- [1] DANIEL T C, VINING J. Methodological thesis in assessment of landscape quality[J]. Behavior and the Natural Environment, 1983(6):51-55.
- [2] 贺志勇,张肖宁,史文中. 景观生态学在公路景观环境评价中的应用[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6):133-135.
- [3] 崔崧,赵昀,金会军,等. 高速公路两翼景观评价方法初探[J]. 辽宁林业科技, 2001(2):40-41.
- [4] 胡圣能,许金良,杨宏志,等. 高速公路景观视觉协调性的评价[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 34(6):1260-1264.
- [5] 袁黎,郑长江,陆健. 一级公路绿化评价方法研究[J]. 交通与计算机, 2008, 26(5):34-37.
- [6] 钱希志. 基于移动 GIS 的公路绿化评价系统的研究与实现[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [7] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司. JTG B01-2014 公路工程技术标准[S]. 北京:人民交通出版社, 2015.
- [8] 余少华,吴廷楹. 德尔菲法在水利枢纽工程景观桥方案比选中的应用[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(6):67-71.
- [9] 王春枝,斯琴. 德尔菲法中的数据统计处理方法及其应用研究[J]. 内蒙古财经学院学报, 2011, 9(4):92-96.
- [10] 袁黎,温丰涛,陆健. 二级公路绿化评价方法的研究[J]. 公路工程, 2010, 35(2):118-121.
- [11] 林夏斌,黄华达,陈淑萍,等. 基于 AHP 的寿宁廊桥景观综合评价[J]. 河南科技学院学报, 2017, 45(1):25-30.
- [12] 弓成. 华北平原区高等级公路路体绿化评价研究[D]. 北京:北京林业大学, 2015:55-57.
- [13] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京:电子工业出版社, 2014:57-61.

Research on Evaluation Index System of Highway Roadside Landscape Greening

Yuan Li, Zhang Qian, Guo Juan, Cai Mingjie

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Considering the characteristic of ordinary highway without medial strip, to better evaluate the level of highway greening, this paper focuses on studying the green landscape of highway roadside. Through analyzing the function of highway greening, this paper firstly selected 29 evaluation indexes by the method of literature review and comprehensive analysis. Then the evaluation index system of highway roadside landscape greening was established and improved with two rounds of consultation by Delphi method, which mainly includes such indexes as safety function, landscape function and ecological protection function. Next, it distributed the weight of each index by way of analytic hierarchy process, and established the comprehensive evaluation model. Finally, it further verified the reliability of the evaluation index system by empirical analysis of the greening evaluation for two sections of the Jiangsu provincial trunk highway 340.

Key words: evaluation index system; Delphi method; greening; highway roadside; analytic hierarchy process

(责任编辑 刘棉玲)

(上接第 55 页)

Study on Bilateral Interaction Between Vehicle and Grid Based on Stackelberg Model

Cheng Hongbo, Li Minghui

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The implementation of bidirectional energy flow between electric vehicles and grid is an important research on smart grid. Vehicle-to-grid interaction is characterized by dynamic game for the interest conflicts and priority decisions. Based on the specific form and characteristics of vehicle-to-grid interaction, the equilibrium problem of mutual interest was analyzed by the Stackelberg dynamic game theory and the vehicle-to-grid game model was also established. By using optimization algorithm, solution of Nash Equilibrium was gained from this model. Then, this paper analyzed the vehicle-to-grid power exchange and charge-and-discharge energy based on power exchange. Finally, the vehicle-to-grid interaction strategies were explored through analysis of vehicle-to-grid power exchange as well as charge and discharge. Taking a specific area as the object, this paper analyzed its electric-vehicle usage frequency and power-grid company loading conditions. Research results show that the proposed strategy can not only minimize the users' cost, but also play a role in peak load shifting, which achieves the benefit equilibrium between power grid companies and users.

Key words: power exchange; charge-and-discharge scheme; dynamic game; Nash Equilibrium; peak load shifting

(责任编辑 刘棉玲)